

TOMOGRAFIA DE MICROONDAS: RECONSTRUCCION DE
OBJETOS CON PERDIDAS EN GEOMETRIAS CILINDRICAS

J.M.Rius, A.Broquetas, M.Ferrando, A.Cardama, L.Jofre

Dep. Electrofísica

ETS Ing. Telecomunicación de Barcelona

Apdo. 30002 - 08080 Barcelona

ABSTRACT

Microwave diffraction tomography allows to obtain a cross-sectional image of the dielectric properties of an object, from the scattering of an incident microwave radiation. This paper presents a computational study of an imaging algorithm for cylindrical geometries based in the Born approximation. A series of homogeneous cylinders of different size and dielectric permittivity has been reconstructed in lossy media. The influence of attenuation is investigated, and the validity of the algorithm is found to be restricted to weakly scattering objects, in a similar way that in linear geometries. However differential techniques allow the reconstruction of changes in high diffracting objects.

INTRODUCCION

La reconstrucción de objetos a partir de los campos difractados para geometrias de medida lineales y medios sin pérdidas ha sido investigada recientemente [1], produciendo imágenes satisfactorias de objetos poco difractantes. En aplicaciones biológicas los tejidos presentan una gran dispersión de constante dieléctrica. Por motivos de adaptación, la medida se realiza sumergiendo el cuerpo en agua, lo que conlleva atenuaciones importantes en el cuerpo y en el medio externo.

Las geometrías de medida cilíndricas presentan la ventaja de estar mejor adaptadas a la difracción en medios con pérdidas frente a las disposiciones lineales convencionales [2]. Recientemente se ha presentado un algoritmo de reconstrucción para geometría cilíndrica [3], basado en la aproximación de Born, consistente en suponer un campo total similar al incidente. La incidencia de esta aproximación en la imagen obtenida, depende de las características del objeto, por lo que se ha reconstruido una serie de cilindros homogéneos variando su tamaño, índice de refracción y tangente de pérdidas. Los campos difractados por cilindros poseen solución analítica, lo que facilita la simulación.

PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

En geometría cilíndrica se ilumina el objeto con una antena emisora mientras se recibe con las restantes. Emitiendo secuencialmente con todas las antenas y procesando digitalmente los campos recibidos, pueden sintetizarse ondas planas como superposición de ondas cilíndricas. De esta manera, puede reconstruirse parte de la TF-2D del objeto análogamente a como se hace con geometrías planas. El algoritmo incluye las pérdidas en su formulación, excepto en la inversión del espectro del objeto en que por motivos de eficiencia se utiliza FFT en vez de integración en el plano complejo.

SIMULACIONES REALIZADAS

La agrupación de medida utilizada en la simulación corresponde a un sistema experimental con 64 antenas distribuidas sobre un círculo de 25 cm de diámetro, trabajando a 2.45GHz.

La Fig.1 muestra las imágenes de 4 cilindros muy poco difractantes. No tienen pérdidas ni los cilindros ni el medio. Los valores obtenidos corresponden aproximadamente a los originales, con un ligero decaimiento radial.

En la Fig. 2 los cilindros y el medio tienen una tangente de pérdidas similar a la del agua. A pesar de invertir el dominio espectral del objeto con FFT, la imagen no presenta errores importantes.

En la Fig. 3 los cilindros son muy difractantes, la reconstrucción es satisfactoria para diámetros menores que 2 longitudes de onda en el medio. En general, los algoritmos que utilizan la aproximación de Born fallan cuando el desfase entre la onda que atraviesa el objeto y el campo incidente es mayor que 180 grados.

Para cada antena emisora (una vista) tenemos

$$O_b(\vec{r}) = O(\vec{r}) \cdot E(\vec{r}) / E_0(\vec{r}) \quad (1)$$

donde $O_b(r)$ es la imagen obtenida y $O(\vec{r}) = 1 - \epsilon / \epsilon_0$ es el objeto real para un medio externo de constante dieléctrica ϵ_0 , $E(\vec{r})$ y $E_0(\vec{r})$ son el campo total e incidente respectivamente.

Si el objeto es poco difractante, $E(\vec{r}) \approx E_0(\vec{r})$ y la reconstrucción es correcta. En caso contrario, al sumar los objetos obtenidos para cada vista aparecen fuertes rizados radiales. La expresión (1) puede ser utilizada para corregir $O_b(\vec{r})$ en el caso en que pueda estimarse el campo en el interior del objeto (información a priori).

La Fig.4 muestra reconstrucciones de cilindros de bajo contraste y pérdidas distintas a las del medio. El efecto de la desadaptación en la constante de pérdidas se traduce en un decaimiento o incremento radial de la imagen, pues para un índice de refracción $n=1$, en primera aproximación $E/E_i = e^{-(\alpha - \alpha_0)d}$ siendo d la distancia recorrida por la onda en el cuerpo. Este comportamiento ha sido observado también en geometrías lineales [4].

Modo diferencial

Hemos visto que los algoritmos basados en la aproximación de Born no producen imágenes satisfactorias de objetos de alto contraste. Sin embargo pueden

obtenerse imágenes diferenciales de cambios locales de la permitividad, procesando la diferencia entre campos totales producidos por el objeto modificado y el de referencia. Partiendo de la ec. de Hemholtz y tomando incrementos tenemos

$$[\nabla^2 + K_0^2] \Delta E_S = K_0^2 E_0 \Delta O + \xi \quad (2)$$

donde E_S es el campo difractado y ξ es un término de error

$$\xi = K_0^2 [(E_S + \Delta E_S)(O + \Delta O) - E_S O] \quad (3)$$

Si $E_S \ll E_i$ la imagen diferencial es exacta. Sino, para un cambio pequeño del objeto $\Delta O \ll O$ la imagen obtenida será, para cada vista,

$$\Delta Ob \approx \Delta O E/E_0 + O \Delta E_S/E_0 \quad (4)$$

El primer término sitúa correctamente la zona incrementada del objeto con un factor de peso E/E_0 desconocido, mientras que el segundo término puede falsear la imagen si se producen cambios fuertes en el campo difractado. Si el cuerpo varía sólo localmente, E_S tendrá un comportamiento suave, salvo en las proximidades a la zona incrementada, con lo que la imagen resultante puede ser satisfactoria.

La Fig.5 muestra un modelo simplificado de cabeza humana, una imagen absoluta y cortes de imágenes diferenciales, correspondientes a calentamiento de zonas anulares en el cerebro para distintos diámetros. Las dimensiones de la imagen son correctas, pero los valores numéricos no corresponden a los reales, y dependen de la zona donde se produce el cambio. Obsérvese que en zonas más internas la imagen diferencial tiene menor amplitud, pues el cociente E/E_0 disminuye debido a la diferente atenuación.

CONCLUSIONES

Se ha reconstruido una serie de cilindros dieléctricos a partir del cálculo de sus campos difractados, utilizando un algoritmo basado en la aproximación de Born. Los resultados son correctos para objetos poco difractantes, como ocurre en los algoritmos para geometrías lineales. La desadaptación en constante de pérdidas entre objeto y medio externo, se traduce en perfiles exponenciales de la imagen según la atenuación diferencial en el interior del objeto. En objetos de alto contraste la imagen absoluta es de difícil interpretación, sin embargo es posible obtener una imagen diferencial que sitúe correctamente los cambios de constante dieléctrica en su interior.

REFERENCIAS

- [1] M.Slaney, A.C.Kak, L.E. Larsen "Limitation of Imaging with First-Order Diffraction Tomography" IEEE Trans. on Micr. Theory and Tech., Vol. MTT-32, No.8, August 1984.
- [2] L. Jofre, E. Reyes, M.Ferrando, A. Elias, J.Romeu, M.Baquero, J.M.Rius " A Cylindrical System for Quasi-Real Time Microwave Tomography" Eur. Micr. Conf. 86 Dublin, pp. 599-604.
- [3] J.M. Rius, M.Ferrando, L.Jofre, E. de los Reyes, A.Elias, A.Broquetas "Microwave Tomography: An Algorithm for Cylindrical Geometries", pendiente de publicación en Electronics Letters.
- [4] F.J. Paoloni "The Effects of Attenuation on the Born Reconstruction Procedure for Microwave Diffraction Tomography" IEEE Trans. on Mic. Theory and Tech., Vol. MTT-34, No.3, March 1986.

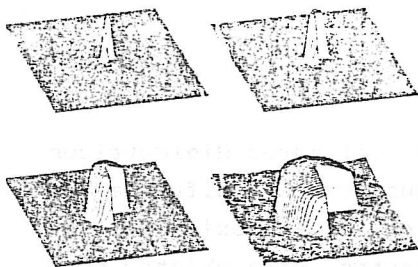


Fig. 1: Cilindros $D=1, 2, 4, 8$; $n=1.01$
Pérdidas cil.= medio = 0

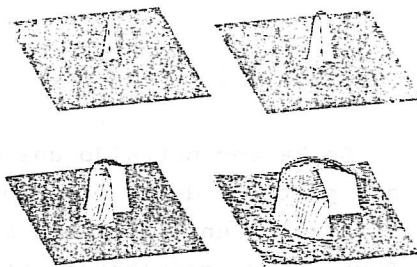


Fig. 2: $n = 1.01$ Pérdidas cil.= medio = agua

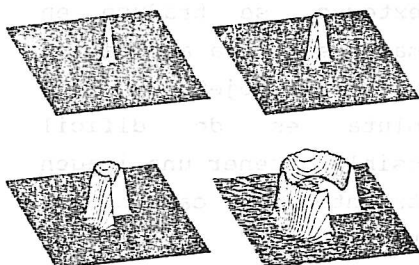


Fig. 3: $n = 1.2$ Pérdidas cil.= medio = agua

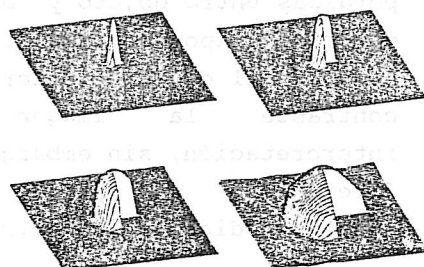


Fig. 4a: $n = 1.01$ Pérdidas cil.=medio = agua

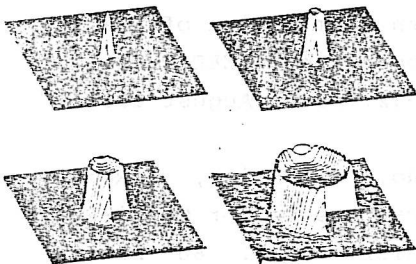


Fig. 4b: $n = 1.01$ Pérdidas cil.=medio = agua

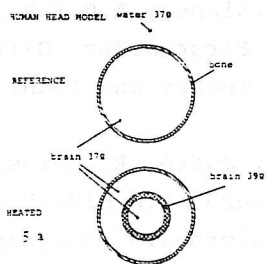


Fig. 5a: Modelo de cabeza humana a 370

Fig. 5b: Reconstrucción del mismo

Fig. 5c: Reconstr. dif. de anillos a 370 y varios diámetros

